Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 359-371

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۳۷۱-۳۵۹

مقاله علمی - پژوهشی

تجزیه پایداری عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. durum) در شرایط مختلف اقلیمی با استفاده از مدل AMMI

علی اکبر مویدی[1]*، توحید نجفی میرک[2]، غلام‌حسین احمدی[3] و اکبر قندی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۰۸

مویدی،ع.ا.، نجفی میرک، ت.، احمدی، غ.ح.، و قندی، ا. ۱۳۹۹. تجزیه پایداری عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. durum) در شرایط مختلف اقلیمی با استفاده از مدل AMMI. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۲(۳): ۳۷۱-۳۵۹.

چکیده

هدف از این پژوهش تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ×محیط بر عملکرد دانه ۱۸ لاین گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. durum) با استفاده از تجزیه مدل اثر اصلی افزایشی و ضرب‌پذیر امی (AMMI) و نیز ارزیابی ژنوتیپ‌ها، محیط و اثر متقابل آنها با استفاده از آماره‌های پایداری و اکووالانس ریک بود. آزمایشات در سه ایستگاه تحقیقات کشاورزی کرج، نیشابور و کرمانشاه طی سال‌های ۹۶-۱۳۹۴ به مدت دو سال زراعی اجرا شدند. نتایج حاصل از تجزیه امی بر عملکرد دانه نشان داد که اثر اصلی سال و مکان و اثر متقابل آنها با ژنوتیپ و همچنین دو مؤلفه اول اثر متقابل معنی‌دار بودند. نمودار بای‌پلات امی قادر به تفکیک ژنوتیپ‌های پایدار و محیط‌های با قدرت تفکیک بالا از محیط‌های ضعیف بود. نتایج نشان داد که محیط کرج طی هر دو سال زراعی بیشترین نقش را در ایجاد اثر متقابل ژنوتیپ×محیط دارا بود؛ در حالی‌که محیط نیشابور طی هر دو سال زراعی پایدارترین محیط بود و کمترین نقش را در ایجاد اثر متقابل ژنوتیپ×محیط داشت. همچنین محیط کرمانشاه طی سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ مشابه کرج و در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ مشابه محیط نیشابور عمل کرد. بر اساس نتایج، ژنوتیپ‌های ۱۷ و ۱۸ ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها تشخیص داده شدند. همچنین در مجموع، سال‌ها و سه منطقه، ژنوتیپ ۱۶ دارای قدرت پایداری بالا و عملکرد مطلوب در محیط‌های مورد مطالعه بود.

واژه‌های کلیدی: اثر متقابل ژنوتیپ×محیط، پایداری، ژنوتیپ برتر.

مقدمه

گنـدم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. durum) بخـش کوچکی معادل پنج درصد از سطح زیر کشت گندم در دنیا و حدود ۱۰ درصد از کل تولید گندم را شامل می‌شود. در سال‌هـای اخیـر میـزان تولید گندم دوروم افزایش یافته و به حدود بـیش از ۳۰ میلیـون تـن رسیده است که اتحادیه اروپا، کانادا و ایالات متحده ۶۰ درصـد ایـن میزان را تولید می‌نمایند. گندم دوروم یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی در منطقه مرکز و غرب آسیا و شـمال آفریقـا (Central and West

۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضـوی، سـازمان تحقیقـات، آمـوزش و تـرویج کشاورزی، مشهد، ایران.
۲- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات غلات، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۳- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشـاورزی، کرمانشاه، ایران.
۴- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و تـرویج کشـاورزی، اصفهان، ایران.

(*- نویسنده مسئول: Email: moayediali@gmail.com)
Doi:10.22067/jag.v12i3.87607

(Asia and North Africa (CWANA و کشورهای حاشیه دریای مدیترانه می‌باشد. منطقه ساوانا سالانه حدود ۱۳ میلیون تن گندم دوروم تولید می‌کند که کشورهای ترکیه، سوریه، مراکش، تونس، الجزایر و ایران ۸۴ درصد این میزان را تولید می‌کنند. بیشتر کشورهای منطقه ساوانا جزء شبکه واردکننده گندم دوروم هستند. در این منطقه تنها سوریه صادرکننده گندم دوروم بوده و ایران پتانسیل بالایی برای تولید گندم دوروم دارد (Mohammadi & Amri, 2013). در ایران سطح زیر کشت گندم دوروم بین ۴۰۰-۳۰۰ هزار هکتار بوده و میزان تولید سالانه آن بین ۶۰۰-۵۰۰ هزار تن می‌باشد (Najafi Mirak et al., 2019).

وجود اثر متقابل ژنوتیپ و محیط مهم‌ترین چالش فراروی به‌نژادگران گیاه است. تفسیر اثرات متقابل، شناسایی محیطهای هدف و معرفی ژنوتیپ‌های مناسب با سازگاری خصوصی و عمومی برای محیطهای مورد مطالعه و تعیین ژنوتیپ‌های پایدار در سال‌های مختلف از اهداف مهم در بررسی ژنوتیپها در سال‌ها و مکان‌های مختلف می‌باشد. پدیده اثر متقابل ژنوتیپ×محیط به به‌نژادگران گیاه کمک می‌کند تا در ارزیابی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف، مکان‌های غیرضروری را حذف نموده و در نتیجه موجب کاهش بیشتر هزینه‌ها شوند (Basford & Cooper, 1998; Kang & Magari, 1996; Shafi et al., 1992). پارامترهای زیادی برای تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ×محیط ارائه شده است. استفاده از روش مبتنی بر رگرسیون (Finlay & Winkinson, 1963; Eberhart & Russell, 1966)، در زمره اولین روش‌های مورد استفاده است. سایر روش‌های آماری از جمله روش امی[1] (AMMI: Gauch & Zobel, 1996)، روش شمی[2] یا مدل ضرب‌پذیر متغیر (Cornelius et al, 1996 ; Cornelius,1993) و مدل SREG یا GGE Biplot (Yan, 2001) نیز زیاد مورد استفاده قرار گرفته‌اند، ضمن این‌که برای تعیین مدل پایداری، معیارهای ناپایداری هان (Huhn, 1996) که مبتنی بر تغییر مرتبه ارقام می‌باشند و روش مجموع رتبه کنگ (Kang, 1993; Kang, 1998) که از جمله روش‌های ناپارامتری هستند، می‌توانند معیارهای معتبری برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر باشند.

روش AMMI، یک روش چندمتغیره آماری می‌باشد که اثرات جمع‌پذیر ژنوتیپ، محیط و اثرات ضرب‌پذیر ژنوتیپ×محیط را توجیه نموده و تفسیر خوبی از اثر متقابل ژنوتیپ×محیط را ارائه می‌نماید (Ebdon & Gauch, 2002). اگر از جزء جمع‌پذیر مدل، بدون در نظر گرفتن اثر متقابل برای توجیه واریانس آزمایشات استفاده شود، مدل مذکور را امی صفر و اگر از جزء ضرب‌پذیر امی که اثر متقابل را نیز در نظر می‌گیرد استفاده شود بسته به این‌که از کدام مؤلفه استفاده شود، مدل امی ۱ تا امی F نامیده می‌شود (Gauch & Zobel, 1996). مؤلفه‌های AMMI معیار معتبری برای بررسی پایداری ژنوتیپ‌ها و ارتباط بین ژنوتیپ‌ها و محیط می‌باشند. اگر چندین مؤلفه از مؤلفه‌های اثر متقابل در مدل امی از لحاظ آماری معنی‌دار باشند، نشان‌دهنده وجود اثر متقابل پیچیده ژنوتیپ×محیط می‌باشد(Gauch & Zobel, 1996). با استفاده از مدل امی، یک پارامتر پایداری معتبر توسط پرکاس (Purchase, 1997) برای پایداری ژنوتیپها ارائه شد که آن‌را ارزش پایداری امی (ASV[3]) می‌نامند و در آن از دو مؤلفه اول امی برای این روش استفاده می‌گردد. همچنین از اکووالانس ریک به منظور تعیین سهم محیطها در اثر متقابل می‌توان استفاده نمود (Isik & Kleinschmit, 2005). آلبرت (Albert, 2004) در بررسی اثر متقابل ژنوتیپ×محیط و برای تعیین پایداری هیبریدهای ذرت (*Zea mays* L.) روش‌های مختلف پایداری را با هم مقایسه کرد، ولی در نهایت، مدل AMMI را مناسب‌ترین روش برای تجزیه پایداری معرفی کرد.

کاربرد مدل AMMI در گزینش ارقام مناسب برای گندم دوروم (Mohammadi et al., 2016; Najafi Mirak et al., 2018; Najafi Mirak et al., 2019) در کشور گزارش شده است. طاهریان و همکاران (Taherian et al., 2019)، با بررسی اثر متقابل ژنوتیپ×محیط در جو (*Hordeum vulgare* L.) با استفاده از روش‌های مختلف پایداری بیان داشتند که مدل AMMI نه تنها پایدارترین ژنوتیپها را معرفی می‌کند، بلکه می‌تواند بیانگر سازگاری خصوصی ارقام نیز باشد. مؤیدی و همکاران (Moayedi et al., 2020) به‌منظور مطالعه سازگاری و پایداری بیست لاین امیدبخش گندم دوروم در چهار منطقه از اقلیم معتدل کشور با استفاده از روش چندمتغیره بای‌پلات،گزارش کردند ژنوتیپ‌های G_1، G_2 و G_{18} جزء ژنوتیپ‌های برتر از نظرعملکرد و پایداری بالا بودند. آن‌ها بیان کردند که لاین G_{18} می‌تواند در قیاس با رقم شاهد هانا (G_1) به‌عنوان لاین امیدبخش مطلوب از نظر عملکرد و پایداری در نظر گرفته شود.

1- Additive main effects and multiplicative Interaction
2- SHAMMI

1- ASV: AMMI Stability value

بنابراین هدف از این پژوهش، تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ×محیط و بررسی واکنش ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف و انتخاب ژنوتیپ گندم دوروم پایدار به محیط‌های مورد مطالعه با استفاده از روش‌های چندمتغیره و تک‌متغیره می‌باشد.

مواد و روش‌ها

شانزده لاین امیدبخش گندم دوروم که از آزمایشات مقایسه عملکرد لاین‌های پیشرفته گندم دوروم اقلیم معتدل در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ انتخاب شده بودند (جدول ۱) (Moayedi et al., 2020)، به همراه گندم دوروم هانا و گندم نان پارسی به عنوان ارقام شاهد مورد بررسی قرار گرفتند.

جدول ۱- نام و شجره ارقام و لاین‌های امیدبخش گندم دوروم
Table 1- Name and pedigree of durum wheat cultivars and promising lines

شماره لاین‌ها Lines number	شجره لاین‌ها Pedigree of lines
G_{1}	Dena (*T.durum*)
G_{2}	Parsi (*T. aestivum*)
G_{3}	GUANAY*2/4/CHEN_1/TEZ/3/GUIL//CIT71/CII/5/SOMAT_4/INTER_8/6/SOOTY_9/RASCON_37//TILO_1/LOTUS_4
G_{4}	CLAUDIO/7/ECO/CMH76A.722//BIT/3/ALTAR 84/4/AJAIA_2/5/KJOVE_1/6/MALMUK_1/SERRATOR_1/8/HUBEI//3*SOOTY_9/RASCON_37/3/CRAKE_10/RISSA
G_{5}	1A.1D 5+1-06/3*MOJO//RCOL/3/SNITAN/SOMAT_3//FULVOUS_1/MFOWL_13/10/AVILLO_1/3/CANELO_8//SORA/2*PLATA_12/9/ USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV_1/6/ARDENTE/7/HUI/YAV79/8/POD_9
G_{6}	ARMENT//2*SOOTY_9/RASCON_37/4/CNDO/PRIMADUR//HAI-OU_17/3/SNITAN
G_{7}	PLATA_6/GREEN_17/3/CHEN/AUK//BISU*2/5/PLATA_3//CREX/ALLA/3/SOMBRA_20/4/SILVER_14/ MOEWE
G_{8}	PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA_7/3/ALBA-D/5/AVO/HUI/7/PLATA_13/8/THKNEE_11/9/CHEN/ALTAR 84/3/HUI/POC//BUB/RUFO/4/FNFOOT/10/GREEN_32/CHEN_7//SILVER_14/3/DIPPER_2/BUSHEN_3/4/SNITAN
G_{9}	GODRIN/GUTROS//DUKEM/3/THKNEE_11/4/DUKEM_1//PATKA_7/YAZI_1/3/PATKA_7/YAZI_1/5/AJAIA_12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA_13/3/ADAMAR
G_{10}	WID22248/10/LD357E/2*TC60//JO69/3/FGO/4/GTA/5/SRN_1/6/TOTUS/7/ENTE/MEXI_2//HUI/4/YAV_1/3/LD357E/2*TC60//JO69/8/SOMBRA_20/9/JUPARE C 2001/11/PORTO_6/GREEN_38/3/SOMAT_3/PHAX_1//TILO_1/LOTUS_4
G_{11}	CLAUDIO/10/PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA_7/3/ALBA-D/5/AVO/HUI/7/PLATA_13/8/THKNEE_11/9/CHEN/ALTAR 84/3/HUI/POC//BUB/ RUFO/4/ FNFOOT/11/AJAIA_12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA_13/3/POD_9/4/RASCON_37*2/TARRO_2/5/SORA/2*PLATA_12//SOMAT_3
G_{12}	MERIDIANO/3/SOMAT_3/PHAX_1//TILO_1/LOTUS_4/5/TATLER_1/TARRO_1/3/CANELO_8//SORA/2*PLATA_12/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1
G_{13}	AJAIA_12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA_13/3/SOMBRA_20/4/SNITAN/5/SOMAT_4/INTER_8/6/SOMO/CROC_4//LOTUS_1/3/KITTI/4/JUPARE C 2001
G_{14}	SOOTY_9/RASCON_37//GUAYACAN INIA
G_{15}	STOT//ALTAR 84/ALD/3/THB/CEP7780//2*MUSK_4/6/ECO/CMH76A.722//BIT/3/ALTAR 84/4/AJAIA_2/5/KJOVE_1/7/RASCON_37/2*TARRO_2/4/ROK/FGO//STIL/3/BISU_1/5/MALMUK_1/SERRATOR_1
G_{16}	PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA_7/3/ALBA-D/5/AVO/HUI/7/PLATA_13/8/RAFI97/9/MALMUK_1/SERRATOR_1/10/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1/11/SHAG_21/DIPPER_2//PATA_2/6/ARAM_7//CREX/ALLA/5/ENTE/MEXI_2//HUI/4/YAV_1/3/LD357E/2*TC60//JO69
G_{17}	AJAIA_12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA_13/3/SOMAT_3/4/SOOTY_9/RASCON_37/5/1A.1D 5+10-6/3*MOJO//RCOL/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1
G_{18}	ISLOM_1/DUKEM_2//TARRO_3/5/CREX//BOY/YAV_1/3/PLATA_6/4/PORRON_11/6/YAZI_1/AKAKI_4//SOMAT_3/3/AUK/GUIL//GREEN/7/TOSKA_26/RASCON_37//SNITAN/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در سه منطقه از اقلیم معتدل کشور شامل کرج، نیشابور و کرمانشاه طی دو سال زراعی متوالی (۹۶-۱۳۹۵و ۹۵-۱۳۹۴) کشت و مورد مطالعه قرار گرفتند. زمین مورد کشت تحت تناوب دو ساله غلات- آیش بوده و عملیات تهیه زمین شامل شخم کلش بعد از برداشت محصول قبل، یک نوبت شخم بهاره، یک نوبت دیسک، دو بار لولر عمود برهم، کودپاشی (کودهای سوپر فسفات تریپل، سولفات پتاسیم و یک چهارم کود اوره به صورت پایه مصرف شدند) و ایجار فارو بود. بذور آزمایشی قبل از کاشت به منظور جلوگیری از سیاهک پنهان با قارچ‌کش کاربوکسین تیرام به نسبت دو در هزار ضدعفونی گردید. میزان بذر مصرفی بر اساس ۴۵۰ بذر در متر مربع و با در نظر گرفتن وزن هزار دانه برای هر لاین تعیین گردید. تاریخ کاشت در مناطق مورد آزمایش، ابتدای آبان بود. کشت به صورت جوی و پشته و آبیاری به‌صورت نشتی انجام گرفت. نوع و میزان کود بر اساس آزمون خاک هر منطقه مصرف گردید. کود پتاس از منبع سولفات پتاسیم، کود فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل به‌صورت پایه و کود نیتروژنه از منبع اوره به‌صورت پایه و سرک در مراحل پنجه‌زنی، ساقه‌دهی و ابتدای پرشدن دانه مصرف شد. هر کرت آزمایشی شامل شش ردیف شش متری به فاصله ۲۰ سانتی‌متر (متر مربع ۷/۲=۱/۲×۶) بود که قبل از برداشت نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت حذف و بقیه (شش متر مربع) برداشت شد. برای مبارزه با علف‌های هرز پهن‌برگ و باریک‌برگ، مخلوطی از علف‌کش‌های گرانستار و پوماسوپر به ترتیب به مقدار ۲۰ گرم و یک لیتر در هکتار در مرحله پنجه‌زنی تا ساقه رفتن استفاده شد. تجزیه واریانس صفت عملکرد در سه منطقه و دو سال، با استفاده از تجزیه مرکب انجام شد؛ به طوری‌که اثر مکان، ژنوتیپ و سال تصادفی در نظر گرفته شدند.

قبل از انجام تجزیه واریانس مرکب، جهت آزمون همگنی واریانس آزمایشات، از آزمون بارتلت استفاده شد. نتایج آزمون بارتلت بیانگر یکنواختی واریانس آزمایشات بود. سپس تجزیه امی بر روی مجموع عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف با استفاده از نرم‌افزار GEA-R انجام شد. به منظور تجزیه پایداری عملکرد دانه لاین‌ها و ارقام مورد بررسی از مدل AMMI و از مؤلفه‌های اثر متقابل اول و دوم ($IPCA_1$ و $IPCA_2$) به‌عنوان پارامترهای پایداری برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها استفاده شد (Annicchiarico, 1997).

همچنین از مدل بای‌پلات AMMI جهت بررسی واکنش ژنوتیپ‌ها در محیط‌ها استفاده شد. بای‌پلات‌ها به دلیل نمایش گرافیکی واکنش ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها در پدیده اثر متقابل ابزارهای مفیدی جهت شناسایی ژنوتیپ‌های سازگار به محیط می‌باشند (Suadric et al., 2006). به منظور تحلیل بهتر اثر متقابل، از آماره‌های پایداری AMMI (ASV, Purchase et al., 2000) و اکوووالانس ریک (W^2_i: Wrick, 1962) استفاده شد. آماره ASV به دلیل این‌که اثر دو مؤلفه اول اثر متقابل را به طور هم‌زمان مورد بررسی قرار می‌دهد نقش مهمی در تفسیر نتایج تجزیه AMMI دارد. ژنوتیپ‌ها و محیط‌های با مقادیر کم پارامتر ASV پایدار و با مقادیر بیشتر ناپایدار خواهند بود (Purchase et al., 2000). پارامتر پایداری اکوووالانس ریک (W^2_i) که کمتر بودن آن برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها نشان‌دهنده پایداری بیشتر آن‌ها و سهم کمتر در اثر متقابل می‌باشد جهت کمک در تفسیر نتایج مورد استفاده قرار گرفت.

به منظور تجزیه واریانس مرکب داده‌ها، تجزیه مدل AMMI و رسم نمودارهای بای‌پلات آن و محاسبه پارامترهای اکوووالانس ریک و ASV از نرم‌افزارهای ADEL-R، GE-R و SAS استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.

نتایج نشان داد که بین سال‌ها و مکان‌های آزمایش و همچنین اثر متقابل ژنوتیپ×سال و ژنوتیپ×سال×مکان در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل ژنوتیپ×مکان در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری وجود داشت ($p \leq ۰/۰۱$)، لذا تجزیه پایداری ژنوتیپ‌ها امکان‌پذیر بود (جدول ۲).

نتایج تجزیه واریانس برای اثر اصلی افزایشی و ضرب‌پذیر در جدول ۳ آورده شده است.

تجزیه واریانس اثر افزایشی نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ×محیط در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. در این مدل (امی)، بزرگی اثرات اصلی افزایشی برای ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ×محیط به ترتیب ۱/۴ درصد، ۸۶/۵ درصد و ۱۲/۱ درصد مجموع مربعات کل بود. بزرگی اثرات محیط بیانگر متفاوت بودن محیط‌ها بوده که باعث ایجاد تنوع

در عملکرد دانـه ژنوتیـپ‌هـا شـده اسـت. نتـایج آزمـون معنـی‌داری مؤلفه‌های اثر متقابل نیز نشان داد که دو مؤلفه اول اثر متقابل مـدل امی به ترتیب در سطح احتمال یـک و پـنج درصـد معنـی‌دار بودنـد (جدول ۳). نتایج تجزیه واریانس غیرافزایشی نشان داد که اولین مؤلفه اثر متقابل ۴۹/۶۴ درصد و دومین مؤلفه اثر متقابـل ۲۰/۵۶ درصـد از تغییرات ژنوتیپ و محیط را توجیه کردند. این دو مؤلفه از لحاظ آماری در توجیه اثر متقابل معنی‌دار بودند.

بنـابراین، مـدل دوم امـی ($AMMI_2$) شـامل دو مؤلفـه اول اثـر متقابل و اثر افزایشی ژنوتیپ×محیط، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. به عبارت دیگر، استفاده از مدل دوم امی به خـوبی در تفسـیر نتـایج مفید می‌باشد.

به منظور بررسی روابط ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها از نمایش گرافیکـی بای‌پلات استفاده شد. در بای‌پلات شکل ۱ محور افقی نمایـانگر اثـر اصلی جمع‌پذیر یا میانگین عملکرد دانه بر حسب تن درهکتار و محور عمودی اثر متقابل ضربی یا مقادیر اولین مؤلفه اصلی ($IPCA_1$) یعنی ضرایب عاملی، برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به طور جداگانه می‌باشد. در بای‌پلات مذکور دو جفت از داده‌ها روی محورها نمایش داده شده‌اند. اولین جفت مربوط به میانگین عملکرد هر رقم (محور افقی) و مقادیر اولین مؤلفه اصلی هر ژنوتیپ (محور عمودی) و دومین جفت مربـوط به میانگین عملکرد هر محیط (محور افقـی) و مقـادیر اولـین مؤلفـه اصلی هر محیط (محور عمودی) می‌باشد.

ژنوتیپ‌های شماره ۱۷ و ۱۸ و همچنین محیط‌هـای کـرج ۹۴ و کرمانشاه ۹۴ و ۹۵ دارای اثر متقابل بزرگ بوده و بیشترین تأثیر را در ایجاد اثر متقابل داشتند. ژنوتیپ‌هایی که در مرکـز بـای‌پـلات قـرار گرفته‌اند، اثر متقابل نزدیک به صفر را دارند و دارای پایداری عمومی بیشتری هستند، ژنوتیپ‌های شماره ۹، ۱۵، ۱۶ و ۱۱ دارای اثر متقابل کم بودند، لذا می‌توانند به عنوان ژنوتیپ‌های با پایداری مطلوب مورد توجه قرار گیرند (شـکل ۱). دو مؤلفـه اول اثـر متقابـل (IPCA) بـه ترتیب ۴۹/۶۴ و ۲۰/۵۶ درصد مجموع اثر متقابل ژنوتیـپ×محـیط را توجیه نمودند.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه لاین‌های گندم دوروم در سه مکان و دو سال

Table 2- Combined analysis of variance for durum wheat genotypes in three locations and two years

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares	واریانس توجیه شده Explained Variance (%)
مکان Location	3	127.14ns	43.22
سال Year	1	17.48**	1.98
مکان×سال Location ×year	3	61.63**	20.95
بلوک (آزمایش) Block (expriment)	16	1.54	2.79
ژنوتیپ Genotype	19	0.78ns	1.68
ژنوتیپ ×مکان Genotype× location	57	0.67ns	4.33
ژنوتیپ × سال Genotype× year	19	1.27**	2.73
ژنوتیپ ×مکان ×سال Genotype× location ×year	57	1.04**	6.46
اشتباه آزمایشی Error	304	0.46	15.85
ضریب تغییرات CV (%)	–	9.6	-

ns: غیرمعنی‌دار و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

ns: nonsignificant and **: significant at 1% probability levels, respectively.

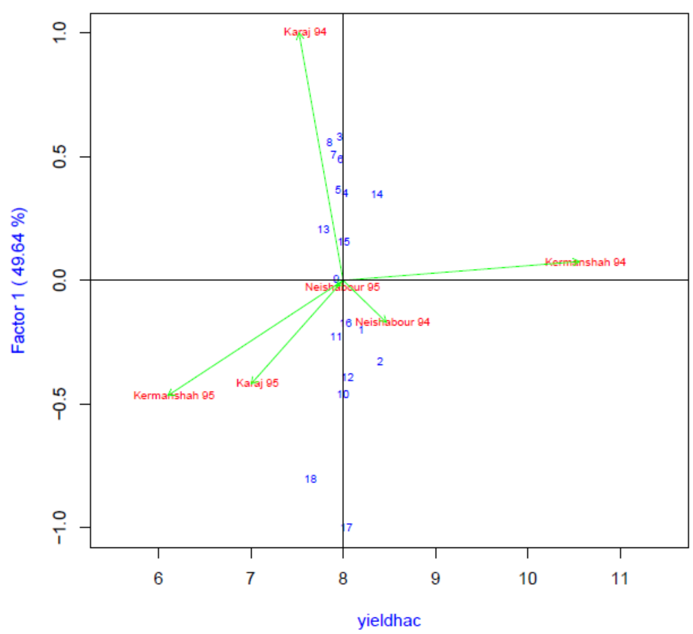
جدول ۳- تجزیه واریانس اثرات اصلی افزایشی و ضرب‌پذیر برای عملکرد دانه لاین‌های گندم دوروم

Table 3- Variance analysis of additive main effects and multiplicative interaction for durum wheat lines yield

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares	واریانس توجیه شده Explained variance (%)
کل Total	323	2.7	-
تیمار Treatment	107	6.75^{**}	-
ژنوتیپ Genotype	17	0.59^{ns}	1.4
محیط Environment	5	124.86^{**}	86.5
اثر متقابل(GE) Interaction (GE)	85	1.03^{**}	12.1
$IPCA_1$	21	2.07^{**}	49.64
$IPCA_2$	19	0.95^{*}	20.56
باقیمانده Residuals	45	0.85^{ns}	29.83
بلوک* Block	12	4.24^{**}	-
خطای ادغام شده Pooled error	204	0.49	-

ns: غیرمعنی‌دار و *و**: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

ns: nonsignificant, * and **: significant at 5% and 1% probability levels, respectively



شکل ۱- بای پلات میانگین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها و مقادیر اولین مؤلفه اصلی آن‌ها

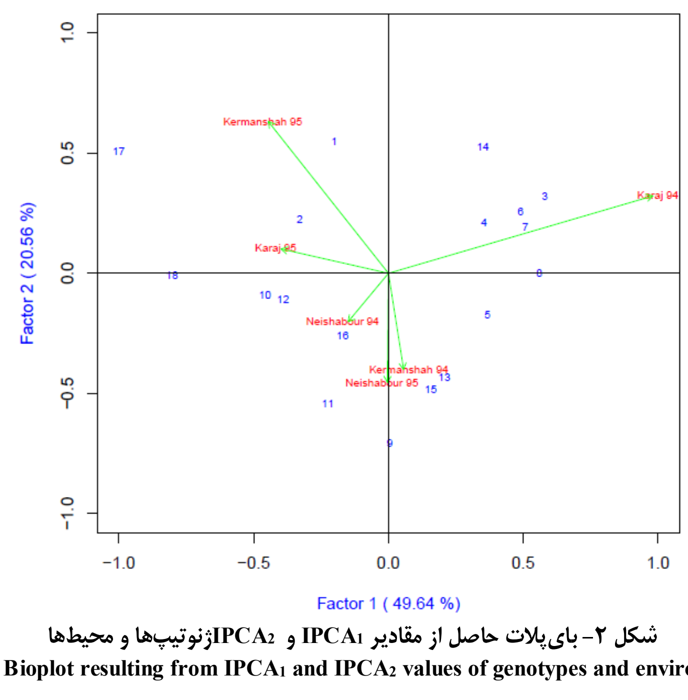
Fig. 1- Biplot of genotypes and environments mean and the values of their first IPCA

نتایج حاصل از بای‌پلات دو مؤلفه اول (شکل ۲) نشان داد که محیط‌های نیشابور ۹۴ و ۹۵ و کرمانشاه ۹۴، محیط‌های مشابه از لحاظ واکنش‌های اثر متقابل ژنوتیپ×محیط بوده و محیط‌های مؤثر جهت گزینش ژنوتیپ‌های ۹، ۱۵، ۱۶ و ۱۱ بودند. براساس این بای‌پلات، دو محیط کرج ۹۴ و کرمانشاه ۹۵ تأثیر زیادی در ایجاد اثر متقابل داشتند. همچنین ژنوتیپ‌های ۱۷ و ۱۸ نیز با نقش بالایی که در ایجاد اثر متقابل داشتند تحت تأثیر محیط‌های کرمانشاه ۹۵ و کرج ۹۵ قابل تفکیک بودند و این ژنوتیپ‌ها قابلیت سازگاری خصوصی بالایی به این محیط‌ها داشتند (شکل ۲).

تجزیه پایداری ژنوتیپ‌ها

مقادیر پارامترهای ژنوتیپی و رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر این اساس در جدول ۴ آورده شده است. ضرایب دو مؤلفه اول اثر متقابل به‌عنوان ساده‌ترین پارامترهای پایداری جهت انتخاب ژنوتیپ‌ها قبلاً مورد استفاده قرار گرفته است (Annicchiarico, 1997; Purchase et al., 2000). گراس گروبر و همکاران (Grausgruber et al., 2000) در گندم نان و محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2008) در گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.)، باصفا و طاهریان (Basafa & Taherian, 2016) در ذرت و طاهریان و همکاران (Taherian et al., 2019) در جو از ضرایب مؤلفه‌های اصلی اثر متقابل (IPCA) جهت گزینش ژنوتیپ‌های پایدار استفاده نمودند. درپژوهش حاضر، کمترین مقدار $IPCA_1$ مربوط به ژنوتیپ‌های ۹، ۱۵، ۱۶، ۱۳، ۱۱ و ۱ و کمترین مقدار $IPCA_2$ مربوط به ژنوتیپ‌های ۱۸، ۱۲، ۸، ۵، ۷، ۱۶، ۶ و ۴ بود. بر اساس مقادیر $IPCA_1$ و $IPCA_2$ ژنوتیپ ۱۶ با میزان عملکرد بالاتر از میانگین کل جزء پایدارترین ژنوتیپ‌ها بود. بیشترین میزان $IPCA_1$ متعلق به ژنوتیپ‌های ۱۷ و ۱۸ به ترتیب با میانگین عملکرد بیشتر و کمتر از میانگین کل بود. همچنین بیشترین ضرایب $IPCA_2$ مربوط به ژنوتیپ نه با میانگین عملکرد کمتر از میانگین کل بود.

آماره پایداری امی (ASV) نیز نشان داد که ژنوتیپ‌های ۱۰، ۱۶، ۱۵، ۱۳ و ۹ با کمترین مقدار ASV پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. در حالی‌که ژنوتیپ‌های ۱۷ و ۱۸ از نظر این شاخص، ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها در مجموع محیط‌ها بودند.



شکل ۲- بای‌پلات حاصل از مقادیر $IPCA_1$ و $IPCA_2$ ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها

Fig. 2- Biplot resulting from $IPCA_1$ and $IPCA_2$ values of genotypes and environments

جدول ٤- میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها، ضرایب مؤلفه‌های اثر متقابل و آماره‌های AMMI و اکووالانس ریک و رتبه‌های ژنوتیپ‌ها

Table 4- Mean yield, coefficients of interaction components, AMMI and Wrick statistics and their ranks for genotypes

ژنوتیپ‌ها Genotypes	میانگین عملکرد Mean yield ($t.ha^{-1}$)	رتبه Rank	$IPCA_1$	رتبه Rank	$IPCA_2$	رتبه Rank	ASV_i	رتبه Rank	W^2_i	رتبه Rank	W^2_i%
1	8.193	3	-0.2	4	-0.55	17	0.73	5	1.8464	15	6.36
2	8.401	1	-0.33	7	-0.22	8	0.83	7	1.3923	9	4.79
3	7.961	11	0.58	16	-0.32	11	1.43	16	1.4055	11	4.84
4	8.022	7	0.35	8	-0.21	7	0.87	8	0.8589	2	2.96
5	7.947	12	0.37	10	0.17	5	0.91	9	1.0559	5	3.63
6	7.972	10	0.49	13	-0.25	9	1.21	13	1.4881	12	5.12
7	7.896	15	0.51	14	-0.19	6	1.24	14	1.3599	7	4.68
8	7.852	16	0.56	15	-0.002	1	1.35	15	1.0347	4	3.56
9	7.927	13	0.005	1	0.7	18	0.7	4	4.7616	18	16.39
10	7.995	10	-0.46	12	0.09	3	1.11	12	2.5062	17	8.63
11	7.925	14	-0.22	6	0.54	16	0.76	6	1.6412	13	5.65
12	8.047	4	-0.39	11	0.11	4	0.95	10	2.365	16	8.14
13	7.784	17	0.21	5	0.43	12	0.66	3	0.6304	1	2.17
14	8.366	2	0.35	9	-0.52	15	0.99	11	0.9115	3	3.14
15	8.006	8	0.16	2	0.48	13	0.62	2	1.3844	8	4.77
16	8.024	6	-0.17	3	0.26	10	0.49	1	1.2025	6	4.14
17	8.032	5	-0.99	18	-0.51	14	2.44	18	1.4048	10	4.84
18	7.647	18	-0.8	17	0.009	2	1.93	17	1.8023	14	6.2

$IPCA_1$ و $IPCA_2$: اولین و دومین مؤلفه اثرات ژنوتیپ‌ها، ASV_i: آماره پایداری امی برای ژنوتیپ‌ها، W^2i: اکووالانس ریک برای ژنوتیپ‌ها و W^2i%: درصد سهم هر ژنوتیپ در اثر متقابل

$IPCA_1$ and $IPCA_2$: The first and second components of genotypes effects, ASV_i: AMMI stability value for genotypes, W^2i: Wrick equivalence for genotypes, and %W^2i: Percentage share of each genotype in interaction

جدول ۵- میانگین عملکرد محیط‌ها، ضرایب مؤلفه‌های اثر متقابل و آماره‌های AMMI و اکووالانس ریک و رتبه‌های محیط‌ها

Table 5- Mean yield of environments, coefficients of interaction components, AMMI and Wrick statistics and their ranks for environments

سال Year	مکان Location	میانگین عملکرد Mean yield ($t.ha^{-1}$)	رتبه Rank	$IPCA_1$	رتبه Rank	$IPCA_2$	رتبه Rank	ASV_j	رتبه Rank	W^2_j	رتبه Rank	W^2_j%
2015-16	کرج Karaj	7.592	4	1.63	6	-0.53	3	15.73	5	10.87	6	37.29
2015-16	کرمانشاه Kermanshah	10.628	1	0.12	2	0.65	4	0.51	1	2.62	1	8.99
2015-16	نیشابور Neishabour	8.538	2	-0.28	3	0.33	2	0.56	2	3.37	3	11.54
2016-17	کرج Karaj	7.074	5	-0.68	4	-0.17	1	2.71	3	3.95	4	13.53
2016-17	کرمانشاه Kermanshah	6.172	6	-0.8	5	-1.03	6	4.42	4	5.55	5	19.02
2016-17	نیشابور Neishabour	7.995	3	-0.04	1	0.74	5	0.56	2	2.81	2	9.63

$IPCA_1$ و $IPCA_2$: اولین و دومین مؤلفه اثرات محیطی، ASV_j: آماره پایداری AMMI برای محیط‌ها، $W2_j$: اکووالانس ریک برای محیط‌ها، $W2_j$%: درصد سهم هر محیط در اثر متقابل

$IPCA_1$ and $IPCA_2$: The first and second components of environments effects, ASV_j: AMMI stability value for environments, $W2_j$: Wrick equivalence for environments, and $W2_j$%: Percentage share of each environment in interaction.

بر اساس پارامتر پایداری اکووالانس ریک، ژنوتیپ‌های ۴، ۱۲، ۵، ۱۶ و ۱۳ پایدارترین ژنوتیپ‌ها بوده و به ترتیب با ۲/۱۷، ۲/۹۶، ۳/۱۴، ۳/۵۶ و ۳/۶۳ درصد کمترین نقش را در اثر متقابل ژنوتیپ و محیط داشتند. در صورتی‌که ژنوتیپ‌های ۱۷ و ۱۸ به ترتیب با ۱۶/۳۹ و ۸/۶۳ درصد بیشترین نقش را در این اثر متقابل دارا بودند (جدول ۴).

تجزیه پایداری محیط

مقادیر این پارامترها و رتبه‌بندی محیط‌ها بر اساس این پارامترها در جدول ۵ آورده شده است.

محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2008) در گلرنگ و طاهریان و همکاران (Taherian et al., 2019) در جو به منظور تجزیه بهتر اثرات متقابل ژنوتیپ و محیط از پارامترهای پایداری برای محیط‌ها استفاده کردند. جهت گزینش محیط‌های مناسب با قدرت بالا در تفکیک ژنوتیپ‌ها، محیط‌ها بایستی دارای مقادیر $IPCA_1$ بالا و $IPCA_2$ پائین باشند. بر اساس این دو پارامتر، یان و همکاران (Yan et al., 2000) درگندم و یان و راجاکان (Yan & Rajcan, 2002) در سویا، ژنوتیپ‌های پایدار به محیط‌ها و نیز محیط‌های با قدرت تفکیک ژنوتیپی بالا از سایر محیط‌ها را شناسایی نمودند. در تحقیق حاضر بر اساس $IPCA_1$، محیط نیشابور ۹۵، کرمانشاه ۹۴ و نیشابور ۹۴ دارای بیشترین پایداری و کمترین نقش در اثر متقابل بودند که در این میان محیط کرمانشاه ۹۴ بیشترین پتانسیل عملکرد را دارا بود. محیط‌های کرج ۹۴، کرمانشاه ۹۵ و کرج ۹۵ به ترتیب با بیشترین $IPCA_1$ بیشترین نقش را در ایجاد اثر متقابل ژنوتیپ و محیط داشتند. کمترین $IPCA_2$ محیطی به محیط کرج ۹۵ و بیشترین آن به محیط‌های نیشابور ۹۵ و کرمانشاه ۹۴ تعلق داشت. محیط‌های ایده‌آل براساس $IPCA_1$ بالاتر و $IPCA_2$ کمتر عبارت بود از محیط کرج ۹۴ (با مقادیر مثبت $IPCA_1$). بر اساس آماره پایداری محیطی امی (ASV_j)، محیط‌های کرمانشاه ۹۴، نیشابور ۹۴ و نیشابور ۹۵ دارای بیشترین پایداری و کمترین نقش در پدیده اثر متقابل بودند و از بیشترین پتانسیل عملکرد دانه نیز برخوردار بودند؛ در صورتی‌که محیط کرج ۹۴ با پتانسیل عملکرد پایین، بیشترین نقش در ناپایداری را داشت. بر اساس پارامتر اکووالانس ریک، محیط‌های کرمانشاه ۹۴ و نیشابور ۹۵ به ترتیب با ۸/۹۹ و ۹/۶۳ درصد کمترین نقش و محیط کرج ۹۵ با ۳۷/۲۹ درصد بیشترین نقش را در ایجاد اثر متقابل داشتند (جدول ۵).

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه روی تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ×محیط بر عملکرد دانه ۱۸ لاین گندم دوروم با استفاده از تجزیه مدل اثر اصلی افزایشی و ضرب‌پذیر امی (AMMI) و نیز ارزیابی ژنوتیپ‌ها، محیط و اثر متقابل آنها با استفاده از آماره‌های پایداری و اکووالانس ریک نشان داد که تفاوت در رتبه ژنوتیپ‌ها در محیط‌ها نشان‌دهنده اثر متقابل ژنوتیپ و محیط می‌باشد، به طوری‌که این اثر متقابل با معنی‌دار شدن آن از لحاظ آماری در سطح احتمال یک درصد قابل توجه بود. نتایج نشان داد که محیط کرج طی هر دو سال زراعی بیشترین نقش را در ایجاد اثر متقابل ژنوتیپ×محیط دارا بود؛ در حالی‌که محیط نیشابور طی هر دو سال زراعی پایدارترین محیط بود و کمترین نقش را در ایجاد اثر متقابل ژنوتیپ×محیط داشت. همچنین محیط کرمانشاه طی سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ مشابه کرج و در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ مشابه محیط نیشابور عمل کرد. بر اساس نتایج حاصل، ژنوتیپ‌های ۱۷ و ۱۸ ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها تشخیص داده شدند. در مجموع، بر اساس نتایج این آزمایش در مجموع سال‌ها و سه منطقه، ژنوتیپ ۱۶ دارای قدرت پایداری بالا و عملکرد مطلوب در محیط‌های مورد مطالعه بود.

References

Albert, M.J.A., 2004. A comparison of statistical methods to describe genotype× environment interaction and yield stability in multi- location maize trials. MSc Thesis. Department of Plant Science. The University of the Free State, Bloemfontein.

Annicchiarico, P., 1997. Joint regression vs AMMI analysis of genotype-environment interactions for cereals in Italy. Euphytica 94: 53-62.

Basford, K.E., and Cooper, M., 1998. Genotype by environment interaction and some considerations of their implication for wheat breeding in Australia. Australian Journal of Agricultural Research 49: 154-175.

Cornelius, P.I., 1993. Statistical tests and retention of terms in the additive main effects and multiplicative interaction model for cultivar trials. Crop Science 33: 1186-1193.

Cornelius, P.L., Crossa, J., and Seyedsadr, M.S., 1996. Statistical tests and estimates of multiplicative models for GE interaction. In: kang, M.S. and H.G. Jr. Gauch (Eds.). Genotype-by- Environment Interaction. (pp.199-234). CRC Press, Boca Raton, Florida.

Croosa, J., Gauch, G.H., and Zobell, R.W., 1990. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. Crop Science 30: 493-500.

Ebdon, J.S., and Gauch, H.G., 2002. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of national turf grass performance trials: I. Interpretation of genotype× environment interaction. Crop Science 42: 489-496.

Eberhart, S.A., and Russell, W.A., 1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop Science 6: 36-40.

Finlay, K.W., and Wilkinson, G.N., 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding program. Australian Journal of Agricultural Research 14: 742-754.

Gauch, H.G., and Zobel, R.W., 1996. AMMI analysis of yield trials. In: Kang, M.S., and H.G. Jr. Gauch (Eds.), Genotype- by- Environment Interaction. (pp. 85-122). CRC Press, Boca Raton, Florida.

Grausgruber, H., Oberforster, M., Werteker, M., Ruckenbauer, P., and Vollmann, J., 2000. Stability of quality traits in Australian grown winter wheat. Field crop Research 66: 257-267.

Hayward, M., Bosemard, D., and Romagosa, L., 1993. Plant breeding. Chapman and Hall, UK.

Huhn, M., 1996. Nonparametric analysis of genotype× environment interaction by ranks. In: Kang, M.S., and Gauch, H.G.Jr. (Eds.), Genotype- by- Environment Interaction. (pp. 235-271). CRC Press, Boca Raton. Florida.

Isik, K., and Kleinschmit, J., 2005 .Similarities and effectiveness of test environments in selecting and deploying desirable genotypes. Theoretical and Applied Genetics 110: 311-322.

Kang, M.S., 1993. Simultaneous selection for yield and stability in crop performance genotype × environment interaction 239 trials: consequences for growers. Agronomy Journal 85: 754-757.

Kang, M.S., 1998. Using genotype× environment interaction for crop cultivar development. Advances in Agronomy 62: 199-252.

Kang, M.S., and Magari, R., 1996. New Developments in Selecting for Phenotypic Stability in Crop Breeding. In: M.S. Kang, and H.G. Zobel (Eds.), Genotype- by- Environment interaction, 1-14. CRC Press, Boca Raton.

Moayedi, A.A., Najafi Mirak, T., Taherian, M., Sasani, S., and Azarm, A., 2020. Evaluation of grain yield stability of durum wheat promising lines in moderate regions of Iran. Journal of Agroecology 12(2): 365-378. (In Persian with English Summary)

Mohammadi, R., Armion, M., Sadeghzadeh, B., Golkari, S., Khalilzadeh, H., Ahmadi, G., Abedi-Asl, M., and Eskandari, M., 2016. Assessment of grain yield stability and adaptability of rainfed durum wheat breeding lines. Applied Field Crops Research 29(4): 25-42. (In Persian with English Summary)

Mohammadi, R., Pourdad S.S., and Amri, A., 2008. Grain yield stability of spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Australian Journal of Agricultural Research 59: 546-553.

Najafi Mirak, T., Dastfal, M., Andarzian, B., Farzadi, H., Bahari, M., and Zali, H., 2018. Evaluation of durum wheat cultivars and promising lines for yield and yield stability in warm and dry areas using AMMI model and GGE Biplot. Journal of Crop Breeding 10(28): 1-12. (In Persian with English Summary)

Najafi Mirak, T., Moayedi, A.A., Sasani, S., and Ghandi, A., 2019. Evaluation of adaptation and grain yield stability of durum wheat (*Triticum turgidum* L.) genotypes in temperate agro-climate zone of Iran. Iranian Journal of Crop Sciences 21(2): 127-138. (In Persian with English Summary)

Purchase, J., 1997. Parametric analysis to describe genotype× environment interaction and yield stability in winter wheat. Ph.D.University of the Free State, South Africa.

Purchase, J.L., Hatting, H., and Van Deventer, C.S., 2000. Genotype× environment interaction of winter wheat in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. South Africa Journal of Plant and Soil 17(3): 101-107.

Schoeman, L.J., 2003. Genotype× environment interaction in sunflower (*Helianthus annuus*) in South Africa. MSc Thesis, Department of Agronomy, University of the Free State, Bloemfontein.

Shafi, B., Mahler, K.A., Price, W.J., and Auld, D.L., 1992. Genotype× environment interaction effects on winter rapeseed yield and oil content. Crop Science 32: 922-927.

Suadric, A., Simic, D., and Vratric, M., 2006. Characterization of genotype by environment interactions in soybean breeding program of Southeast Europe. Plant Breeding 125: 125-191.

Taherian, M., Bihamta, M.R., Peyghambari, S.A., Alizadeh, H., and Rasoulnia, A., 2019. Stability analysis and selection of salinity tolerant barley genotypes. Journal of Crop Breeding 11(29): 93-103.

Van Eeuwijk, F.F., 1992. Multiplicative models for genotype. Environment interaction in plant breeding. Statistical Applied Genetics 4: 393-406.

Wricke, G., 1962. Uber eine method zur refassung der okologischen streubretite in feldversuchen, Flazenzuecht 47: 92-

96.
Yan, W., 2001. GGE Biplot- a Windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two- way data. Agronomy Journal 93(5): 1111-1118.
Yan, W., and Rajcan, I., 2002. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. Crop Science 42: 11-20.
Yan, W., Hunt, L.A., Sheng Q., and Szlavnics, Z., 2000. Cultivar evaluation and mega- environment investigation based on the GGE Biplot. Crop Science 40: 597-605.

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 359-371

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۳۷۱-۳۵۹

Stability Analysis of Seed Yield in Durum Wheat Genotypes (*Triticum turgidum* L. var durum) using AMMI Analysis

AA. Moayyedi[1*], T. Najafi Mirak[2], G.H. Ahmadi[3] and A. Ghandi[4]

Submitted: 03-05-2020
Accepted: 28-06-2020

Moayyedi, A.A., Najafi Mirak, T., Ahmadi, G.H., and Ghandi, A., 2020. Stability analysis of seed yield in durum wheat genotypes (*Triticum turgidum* L. var durum) using AMMI analysis. Journal of Agroecology. 12(3): 359-371.

Introduction

Durum wheat (*Triticum turgidum* L. var durum) consists of only 5% of the world's total cultivated wheat area and contributes about 10% to the total global wheat production. In recent years, the production level of durum wheat has risen to more than 30 million tons and EU, USA and Canada together representing 60% of the production. Durum wheat in Iran is grown on 300-400 thousand hectares with an average annual production of 500-600 thousand tons. Increase in yield is one of the primary aims pursued in plant breeding programs. Similar to other crops, insufficient yield stability in durum wheat is recognized as a one of the factors responsible for the gap between actual yield and potential yield. In breeding programs, the identification of superior genotypes is difficult due to environmental variability of target locations and the interaction of these variability with the investigated genotypes. Therefore, it is important to evaluate the advanced agronomic lines across various environments and over multiple years to ensure their yield stability and production. Many statistical models have been suggested to analyze G×E interaction. The additive main effects and multiplicative Interaction (AMMI) model is a multivariate statistical method that entirely justifies genotype and environment main effects as well as multiplicative G×E interaction effects. This method provides a clear interpretation of G×E interaction effect. The objectives of this study were to analyze genotype by environment (GE) interactions on the seed yield of some durum wheat lines by AMMI model and to evaluate genotype (G), environment (E) and genotype× environment (GE) interactions using statistics parameter i.e. AMMI stability value (ASV) and ecovalence ($W2_i$).

Materials and Methods

Sixteen promising durum wheat lines (G_1-G_{16}) along with two check cultivars (durum wheat cv. Hana and bread wheat cv. Parsi), were investigated for two cropping seasons (2015-2016 and 2016-2017) at three Agricultural Research Stations (such as Karaj, Kermanshah and Neishabour cities) The experimental design at all locations was a randomized complete block design with three replications. Some agronomic attributes such as the number of days until anthesis stages, plant height, number of days till physiological maturity, 1000-kernel weight and grain yield were determined for each genotype. However, only the grain yield data was used to analyze G×E interactions. Combined analysis of variance for grain yield was performed using ADEL-R software. The GGE Biplot methodology was employed to analyze G×E interaction. The AMMI M model was used for the following purposes; (i): Evaluation of yield stability, (ii): The simultaneous selection for yield and

1- Assistant Professor of Horticulture Crop Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Resaerch and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran.
2- Associate Professor of Cereal Research Department, Seed and Plant Research Improvement Institute, AREEO, Karaj, Iran.
3- Assistant Professor of Horticulture Crop Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Resaerch and Education Center, AREEO, Kermanshah, Iran.
4- Assistant Professor of Horticulture Crop Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Resaerch and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran.
(*- Corresponding Author Email: moayediali@gmail.com)
Doi:10.22067/jag.v12i3.87607

stability, (iii): Identification of ideal durum wheat genotypes, and (iv): Assessment of the characteristics of and relationships among the testing environments.

Results and Discussion

The combined analysis of variance showed that the main effects of year and location were significant at 1% probability level, while the main effect of genotype had not significant. Genotype× year interaction and triple genotype × year × location interaction were significant at 1% probability level and also genotype × location interaction was significant at 5% probability level, indicating genotype × environment interaction. The results of AMMI ANOVA showed that about 86.5% of total variation was related to environment effect, 1.4% to genotype effect and 12.1% to genotype× environment interaction. Overall, the average grain yield of the evaluated lines ranged from 7.6 to 8.4 t.ha^{-1} and the G_{18} and G_2 lines had the lowest and highest grain yield, respectively. Main effect due to environment and genotype × environment interaction as well as two first interaction principal components ($IPCA_{1-2}$) were found to be significant, indicating that the agroclimatic environmental conditions were different, and that there was a differential response of the genotypes to the environments. The first two IPCA components of the GE interaction explained about 70.2% of the GE interaction. According to $IPCA_1$, G_9, G_{15} and G_{16} had the lowest scores and were the most stable genotypes whereas G_{17} and G_{18} with the highest scores were found to be unstable. The lowest ASV was observed for G_{16} that was the most stable genotype whose mean yield was higher than the grand mean. However, the highest ASV scores were achieved by G_{17} and G_{18}. AMMI Biplot was used to visualize mean seed yield performance and stability of durum wheat genotypes. AMMI Biplot was able to distinguish stable genotypes with broad sense and narrow sense adaptation and environments with high and low genotype discrimination ability. The genotype G_{16} with higher seed yield than the total mean were the most stable genotypes, while the genotypes G_{17} and G_{18} with the highest contribution to GE interaction were the most unstable genotypes. Wricke's ecovalence stability parameter (W^2_i) showed that the genotypes G_{16}, G_{12}, G_5 and G_4 were the most stable genotypes.

Conclusion

The results indicated that AMMI model and their biplots was an appropriate method for simultaneous selection of performance and stability of cultivars and lines. Also, according to all of methods, genotype G_{16} was selected as a stable and high genotype across all environments. Finally, it can be considered as a favorite promising line compared to the check cultivar Hana and as a candidate in the temperate climate.

Keywords: Genotype × environment interaction, Stability, Superior genotype.